Separatabdruck der **Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen** Band XXI.
Verlag von Lucas Gräfe & Sillem in Hamburg.

In collegialer Hochachtung
überreicht vom Verf.

Kiel, 10/6.14.

(Aus der Kgl. chirurg. Klinik zu Kiel; Direktor: Professor Dr. Anschütz.)

Experimentelle Untersuchungen über den zeitlichen Eintritt der durch Inaktivität bedingten Knochenatrophie.

Von

Privatdozent Dr. **M. Brandes,** Assistent der Klinik.

(Hierzu Tafel XXIII u. XXIV, Fig. 10 u. 11.)

Es ist bekannt, daß wir auch am Knochensystem verschiedene Atrophieformen unterscheiden können, daß senile, -marantische Atrophie, Inaktivitätsatrophie, Druckatrophie, neuroparalytische, und neurotische Atrophie auch hier seit langer Zeit voneinander getrennt werden. Das Studium der Knochenatrophie hat durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen neue klinische Bedeutung erlangt, denn jetzt können wir in der Tat in vivo die Knochenatrophie diagnostizieren und vielleicht auch Einzelheiten studieren.

Außerdem haben uns die Röntgenstrahlen noch eine neue Form der Atrophie kennen gelehrt, die sogenannte akute, reflektorische, trophoneurotische Knochenatrophie, welche zuerst von Sudeck entdeckt wurde, später auch von anderen (ich nenne nur Kienböck und Exner) beschrieben worden ist.

Während sich die gewöhnliche, einfache Inaktivitätsatrophie durch gleichmäßige Schattenaufhellung infolge Kalkschwundes des Knochens im Röntgenbilde kennzeichnet, beobachtete Sudeck eine eigenartige Form der Atrophie, welche fleckweise, herdförmig und ganz ungleichmäßig sich ausbreitete, daher mehr zu fleckigen und scheckigen Veränderungen des Schattenbildes des Knochens führte. Diese Form trennte Sudeck nachdrücklich von der Inaktivitätsatrophie ab, da letztere bisher nie in dieser Form beobachtet war und da außerdem die fleckigen

Atrophieformen akut eintreten, sich sehr schnell im Röntgenbilde bemerkbar machen, was von der Inaktivitätsatrophie bisher nicht angenommen wurde.

Sudeck u. a. beobachteten diese Veränderungen nach Gelenk- und Weichteilverletzungen, besonders nach Gelenktraumen und Gelenkentzündungen, aber auch nach Entzündungen und Verletzungen anderer Teile.

Soweit mir bekannt, liegen eingehende experimentelle röntgenologische Untersuchungen über das zeitliche Eintreten der Knochenatrophien bisher nicht vor. Als ich gelegentlich einer Arbeit „über typische Frakturen des atrophischen Femur" zu diesen Fragen Stellung nehmen mußte, suchte ich mein Urteil auf eigenen Experimenten aufzubauen.

Diese letzteren möchte ich hier kurz schildern und an die erhobenen Röntgenbefunde einige Erwägungen knüpfen.

Die Röntgenstrahlen gestatten uns besser als andere Methoden das Studium der Knochenatrophie, allerdings muß man auch einen geeigneten Knochen als Untersuchungsobjekt aussuchen.

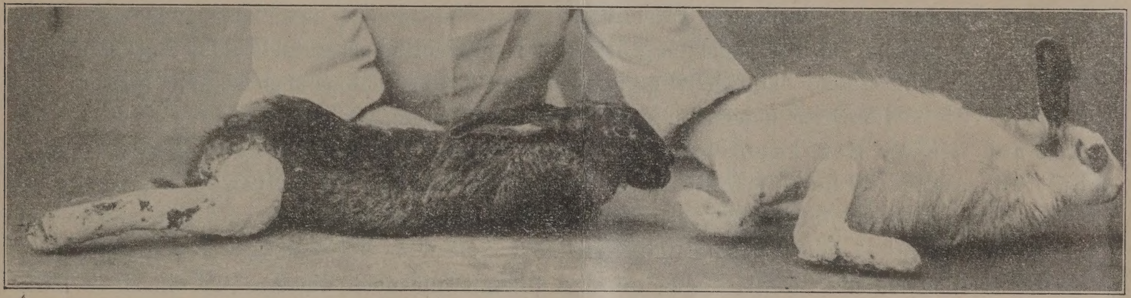
Bekanntlich ist auffallend häufig der Kalkaneus des Menschen zu Untersuchungen über Knochenstruktur, besonders unter pathologischen Verhältnissen des Fußes herangezogen worden (Arbeiten von Patrik Haglund, Stich, Lauenstein, Peters, Revenstorf und Reiner), weil er schon am lebenden Menschen den Einblick in seine Spongiosastruktur leidlich gut gestattet, außerdem auch deshalb, weil die normalen Verhältnisse hier gut erforscht sind, und weil auch das Kontrollbild der gesunden Seite meistens leicht auf derselben Röntgenplatte darzustellen ist. Dennoch zeigt ein Blick auf das ungeheuer dichte Spongiosanetzwerk des Kalkaneus, daß hier die ersten und feinsten Veränderungen, z. B. bei einer beginnenden Atrophie kaum zu erkennen sein werden, da sich die Knochenbälkchen in vielfachen Zügen und Lagen überdecken. Um deshalb ein geeigneteres Objekt zur Untersuchung des zeitlichen Eintritts der ersten Anfänge einer durch Inaktivität bedingten Knochenatrophie zu erhalten, müssen wir zu Tierexperimenten unsere Zuflucht nehmen. Von den gebräuchlichen Laboratoriumstieren hat sich mir besonders der Kalkaneus des Kaninchens am geeignetsten erwiesen, da wir hier nur sehr wenige Spongiosazüge vor uns haben, welche in ihrem ganzen Verlauf gut zu übersehen und einfach angeordnet sind. Außerdem erscheint mir der Kalkaneus des Kaninchens auch deshalb für diese Untersuchungen besonders geeignet, weil die Spongiosazüge in der mittleren Partie des Knochens sich zu einer deutlichen Kortikalisschicht vereinigen, so daß wir hier die eventuell eintretenden Veränderungen sowohl an der Spongiosa als auch an der Kortikalis zugleich übersehen können.

Eine absolute Inaktivität der Knochen wird sich im Tierexperiment kaum herstellen lassen. Um eine möglichst intensive Funktionsbeschränkung des Kaninchenfußes, besonders des Kalkaneus herbeizuführen, durchschnitten wir die Achillessehne, entfernten in offener Wunde ein Stück derselben, um die schnelle Vereinigung der Sehne zu verhindern und ließen die Kaninchen ohne Verband sich frei bewegen. Durch diese Resektion der Achillessehne wird dem Kaninchen das Abwickeln des Fußes am Boden unmöglich gemacht, und der Kalkaneus, welcher bei der Lokomotion als hinterer Hebel dient, und auf den zunächst die Zugkraft der Achillessehne sich erstreckt, ist ruhig gestellt. Außerdem fällt aber auch ein gut Teil der Belastung des Kalkaneus an diesem Beine fort, weil einmal das Bein von dem Kaninchen weniger belastet wird und weil Belastungsversuche infolge der Resektion der Achillessehne auch unvollkommen ausfallen müssen, da bei denselben stets eine ungewollte Einknickung des Unterschenkels im Fußgelenke erfolgt. Durch diese ziemlich intensive Funktionsbeschränkung glaubten wir den Kaninchenkalkaneus genügend inaktiviert zu haben, um eventuell eintretende Atrophien hier in ihren Anfängen studieren zu können.

Außerdem haben wir noch geringere Grade einer Inaktivierung dadurch herzustellen gesucht, daß wir ein Hinterbein gänzlich eingipsten. Die Inaktivierung im Gipsverbande ist deshalb eine ziemlich geringe, weil die Tiere mit dem Verbande herumlaufen, ihre

Knochen belasten, und somit fast ungeschwächt die Zugwirkungen der Sehnen und Muskeln sich doch auf die Knochen erstrecken. (Fig. 1a.)

Um im Gipsverbande die Belastung unmöglich zu machen, haben wir die Hinterbeine einiger Kaninchen so eingegipst, daß bei rechtwinkliger Beugung im Kniegelenk und maximalster Plantarflexion im Fußgelenk das ganze Bein nachgezogen werden mußte und der Fußrücken im Gipsverbande am Boden schleifte. Aber auch hierdurch wird keine so hochgradige Funktionsberaubung des Kalkaneus und des ganzen Fußes herbeigeführt wie durch die Resektion der Achilessehne, da in diesem Gipsverbande bei dem Nachschleifen des Beines die Zugkräfte der Muskeln auf die Knochen einwirken, und außerdem die Kaninchen durch Anstemmen des ganzen Gipsverbandes am Boden eine nicht unerhebliche Belastung der Knochen doch wohl noch erreichten. (Fig. 1b.)



b **Fig. 1.** *a*

Alle diese Versuche wurden am rechten Hinterbeine der Kaninchen angestellt. Das linke diente stets zum Erhalten eines Kontrollbildes. Selbstverständlich wurden stets beide Beine auf eine und dieselbe Röntgenplatte aufgenommen und auf derselben so gelagert, daß die Fußsohlen beider Beine einander zugekehrt waren, damit man die Knochenverhältnisse beider Fußskelette, besonders der Kalkanei möglichst nah und genau miteinander vergleichen konnte. Die Expositionszeit bei der Röntgenaufnahme betrug im allgemeinen 10 Sekunden. Für diese Untersuchung schienen sich nur ausgewachsene und besonders große Kaninchen zu eignen, da wir nur hier eine gut ausgeprägte und vollkommen entwickelte Architektur der Spongiosa fanden.

Da die Inaktivitätsatrophie, welche wir hier studieren wollten, als eine spät eintretende, erst nach vielen Wochen oder sogar einigen Monaten sich bemerkbar machende Form der Atrophie gilt, glaubten wir nach etwa 6 Wochen vielleicht schon die Anfänge einer Atrophie erkennen zu können und begannen anfangs von diesem Zeitpunkte unsere Untersuchungen. Es zeigte sich aber, daß wir hier überall schon hochentwickelte atrophische Zustände der Knochen vor uns hatten und die Anfänge weit früher zu suchen waren. Ich bringe zunächst die Röntgenbefunde der Tiere mit resezierter Achillessehne nach 6, 8, 10 und 12wöchiger Inaktivierung, um dann zu den subtileren Befunden nach 5, 4, 3, 2 und selbst 1 Woche hinabzusteigen.

Befund nach 6 Wochen: (Tafel XXIII, 1.)

Der Kalkaneus der resezierten Seite ist bei weitem durchlässiger für Röntgenstrahlen; der größte Teil seiner Spongiosa ist zerstört. Die ganzen mittleren Partien geben eine diffuse, fleckige Schattenzeichnung, die Kortikalis ist bereits auffallend verdünnt und deutlich in einzelne Längsstreifen aufgelöst; auch die vordersten Partien des Kalkaneus zeigen hochgradige Rarefizierung. Die Atrophie ist aber schon jetzt nicht mehr auf den Kalkaneus beschränkt, sondern auch die übrigen Fußwurzelknochen sind von derselben befallen.

Befund nach 8 Wochen: (Tafel XXIII, 2).

Die Atrophie hat hier deutlich weitere Fortschritte gemacht, die Spongiosastruktur ist nur in minimalsten Resten noch vorhanden; eine ausgesprochene Rarefizierung ist in dem

vorderen Kalkaneusteile vorhanden, erstreckt sich aber auch auf die übrigen Fußwurzelknochen, selbst das untere Tibiaende scheint bereits an der Atrophie teilzunehmen. Der ganze mittlere Raum des Kalkaneus ist von einem diffusen, verwaschenen oder stellenweise fleckigen und zarten Schatten eingenommen. Die Kortikalis ist hier noch dünner, stellenweise besteht nur noch Papierdünne.

Befund nach 10 Wochen: (Tafel XXIII, 3).

In diesem Röntgenbilde ist wieder derselbe Befund zu erheben, nur scheint gegenüber der gesunden Seite die Schattentiefe noch weiter abgenommen zu haben, die Rarefizierung aller Fußwurzelknochen hochgradiger geworden zu sein; die Kortikalis ist nur als schmaler Saum vorhanden, von der Spongiosa sind allerdings einzelne Fasern noch leidlich zu verfolgen, da offenbar das Kaninchen eine besonders stark ausgeprägte Spongiosaarchitektur nach Vergleich mit der anderen Seite besaß.

Befund nach 12 Wochen: (Tafel XXIII, 4).

Die verwaschene diffuse Zeichnung ist hier noch deutlicher auch bei den vorderen Fußwurzelknochen eingetreten. Die Beteiligung auch des unteren Tibiaendes ist ganz deutlich, die Kortikalis wirft stellenweise keinen zu verfolgenden besonderen Schatten mehr.

Nach diesen Befunden handelt es sich ganz zweifellos um bereits vorgeschrittene atrophische Zustände, und deshalb haben wir die Anfänge der Inaktivitätsatrophie in weit früherer Zeit hier zu suchen.

Befund nach 5 Wochen: (Tafel XXIII, 5).

Der Kalkaneus der resezierten Seite zeigt überall nur noch die Ansätze einzelner Bälkchenzüge, im mittleren Teil breitet sich ein diffuser, fleckiger, zarter Schatten aus, die Kortikalis ist deutlich verdünnt, stellenweise schon auf Papierdünne reduziert und stellenweise auch längs gestreift; der Schatten der Kortikalis ist auffallend wenig intensiv, an den vorderen Fußwurzelknochen besteht auch eine leichte Aufhellung des Schattens.

Befund nach 4 Wochen: (Tafel XXIII, 6).

Die Struktur der Spongiosa ist auch hier zum größten Teil zerstört, der Kalkaneus zeigt in der Mitte wieder diffuse, fleckige Schattenbildung, die Kortikalis ist auch weniger breit als auf der gesunden Seite und weniger tiefschattend. Eine Atrophie der vorderen Fußteile ist nicht mehr zu erkennen.

Befund nach 3 Wochen: (Tafel XXIII, 7).

Auch hier ist die Spongiosastruktur schon deutlich zerstört, besonders im hintersten Teile des Kalkaneus fehlen viele Spongiosazüge; die Kortikalis ist weniger tiefschattend, etwas verschmälert und zeigt bereits Andeutungen einer Längsfaserung.

Befund nach 2 Wochen: (Tafel XXIII, 8).

Ein sofort auffallender Unterschied in der Schattentiefe besteht noch nicht, wenn auch bei längerer Betrachtung die Schattenzeichnung des Kalkaneus der linken gesunden Seite intensiver erscheint. Feine Unterschiede sind jedoch sicher schon vorhanden. In den Liniensystemen der Spongiosa, welche sich links durch große Regelmäßigkeit und tadellose Schärfe auszeichnen, ist rechts schon eine Störung eingetreten. Einzelne Spongiosazüge erscheinen hier unterbrochen, andere fehlen gänzlich, und zwar sind diese Veränderungen sowohl an den Zug- wie Drucksystemen bereits vorhanden. Am meisten sind die Liniensysteme befallen, welche den Zügen 1 und 3 des Haglundschen Kalkaneusschemas des Menschen entsprechen dürften. Ganz zweifellos ist das Befallensein gerade dieser Systeme abhängig von dem direkten Abhängigkeitsverhältnisse derselben von der Funktion der Achillessehne. Auch in der Zeichnung der Kortikalis deuten sich schon Veränderungen an. An einzelnen Stellen der Basis des Fersenbeins ist der Kortikalisschatten nicht mehr so breit wie links und beginnt sich auch hier schon in einzelne längs verlaufende Fasern aufzulösen.

Befund nach 1 Woche: (Tafel XXIII, 9).

In dem Röntgenbilde eines Kaninchens war kein deutlicher Atrophiebefund zu erheben.

In dem Bilde eines zweiten Kaninchens, welches ebenfalls nur 8 Tage inaktiviert war, zeigt sich jedoch deutlich eine Aufhellung wieder im hintersten Teile des Kalkaneus, und zwar da, wo die Zug- und Drucksysteme der Spongiosaarchitektur sich kreuzen; auch scheint eine leichte Aufhellung des Kalkaneusschattens noch weiter bis an die mittleren Partien zu reichen.

Ziehen wir das Resultat aus diesen ersten Beobachtungen, so zeigt sich, daß die hier beobachtete Inaktivitätsatrophie schon nach einer Woche sich andeutete, dann zunächst weiter die Spongiosa befiel, um schon bald auch die Kortikalis zu ergreifen, schließlich die ganze Spongiosazeichnung zu zerstören und die Kortikalis bis auf einen längsgefaserten, papierdünnen Streifen aufzulösen. Diese Atrophie konnte deutlich, von den hintersten Teilen des Kalkaneus ausgehend, bis zu den vorderen Fußwurzelknochen verfolgt werden. Auch die Tibia war schließlich davon ergriffen. Das rapide Eintreten der Atrophie geschah hier sichtlich ungleichmäßig, nicht so, daß etwa alle Teile zu gleicher Zeit davon ergriffen wären, sondern es kam zu fleckigen, verwaschenen Schattenzeichnungen in den Röntgenbildern und nicht nur zu einer gleichmäßigen zarten Aufhellung sogleich des gesamten Strukturbildes.

In weiteren Tierexperimenten versuchten wir geringere Grade der Funktionsbeschränkung zu studieren und nahmen derartige unvollkommene Inaktivierungen durch Anlegung von Gipsverbänden in der beschriebenen Weise an Kaninchenbeinen vor. Ich bringe hier nur zwei Bilder: das **erste** (Tafel XXIV, 10) zeigt die Atrophie nach vierwöchiger Immobilisation in einem Verbande, bei dem das Bein eigentlich noch vollkommen belastet werden konnte. Das **zweite** (Tafel XXIV, 11) zeigt eine Atrophie nach sechswöchiger Immobilisation in einem Verbande, bei dem durch die oben geschilderte Stellung des Beines die Belastungsmöglichkeit verringert war.

In beiden Bildern sieht man deutliche atrophische Zustände nicht nur im Kalkaneus, sondern auch in den vorderen Fußwurzelknochen; allerdings scheint hier die Atrophie gleichmäßiger und langsamer eingetreten zu sein. Diese Befunde entsprechen durchaus dem erwarteten Resultat dieser Versuchsanordnung. Von einer detaillierteren Beschreibung dieser Befunde kann ich hier absehen.

Aus all diesen Experimenten geht zweifellos hervor, daß die Inaktivität selbst da, wo es sich auch nur um eine unvollkommene Funktionsberaubung handelt, auffallend schnell eintritt, und das um so schneller und intensiver, je größer die erzielte Inaktivität der Knochen in der Versuchsanordnung ist.

Es ist nun zu erwähnen, daß früh eintretende Atrophien bisher mit Vorliebe als reflektorische oder trophoneurotische Zustände aufgefaßt worden sind. Von Sudeck, Kienböck, Exner u. a. sind derartige Knochenatrophien wiederholt beschrieben worden, und durch alle Arbeiten zieht sich als hauptsächlichstes Argument für diese reflektorischen oder trophoneurotischen Zustände die Behauptung, daß hier das Vorliegen von Inaktivitätsatrophien deshalb ausgeschlossen sei, weil diese letztere Form der Atrophie nicht akut, sondern nur spät und allmählich einsetzen könne. Die Experimente haben uns gezeigt, daß diese Anschauung nicht richtig sein kann, denn wir sind hier ausgesprochenen atrophischen Zuständen begegnet zu einer Zeit, wo bisher selbst die akute, reflektorische Atrophie beim Menschen noch nicht beobachtet wurde, nämlich nach 1—2 Wochen.

Als kürzeste Beobachtungszeit der akuten Knochenatrophie geben Sudeck und Kienböck 4—8 Wochen an. Allerdings sagt Kienböck, daß wohl anzunehmen sei, daß das Auftreten der Atrophie tatsächlich wohl schon etwas früher stattfinde und spricht von einer gewissermaßen mehrwöchigen „Inkubationszeit“.

Daß wir in unserer Untersuchung die Inaktivitätsatrophie in ihren ersten Anfängen beobachten konnten, führe ich hauptsächlich darauf zurück, daß wir besonders geeignete Knochen zur Untersuchung ausgewählt hatten, welche uns eben die Beobachtung auch der ersten Anfänge der Inaktivitätsatrophie gestatteten.

Wir können nach unseren Erfahrungen nicht mehr anerkennen, daß ein Unterschied zwischen einer akuten, reflektorischen Atrophie und einer Inaktivitätsatrophie auf Grund der zeitlichen Verhältnisse gestattet ist, und ich glaube, der Gedanke drängt sich jedem auf.

daß auch die beim Menschen beobachteten sogenannten akuten Atrophien von den Inaktivitätsatrophien nicht in ihrem Wesen verschieden zu sein brauchen, daß es sich also, meinen wir, nicht um qualitative, sondern vielleicht nur um quantitative Unterschiede in diesen atrophischen Zuständen handelt.

Daß man jedoch meistens bei entzündlichen Erscheinungen oder Gelenkveränderungen diese akute Atrophie beim Menschen beobachtete, dürfte kaum gegen diese Anschauung sprechen, denn in diesen Fällen haben wir wohl zweifellos eine besonders hochgradige Inaktivierung vor uns, weil der Schmerz die funktionelle Inanspruchnahme wohl am vollkommensten benimmt!

Unsere Untersuchungen dürften auch von Wert sein für die Beurteilung der zeitlichen Verhältnisse bei dem Transformationsgesetze von Julius Wolff, dem ja unsere Knochenstruktur dauernd unterliegt.

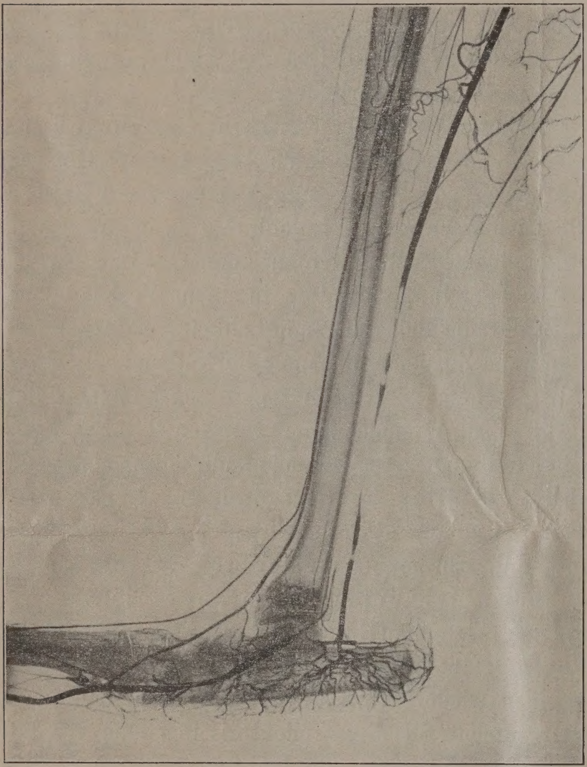


Fig. 2.

Daß es sich in unseren Experimenten lediglich um den Einfluß der Inaktivierung gehandelt hat, steht außer Zweifel. Um dem Einwurf begegnen zu können, es hätte die Durchschneidung der Achillessehne eine Ernährungsstörung des Kalkaneus bedingt, und deshalb sei dieser so schnell der Atrophie anheimgefallen, haben wir ein Injektionspräparat von einem Kaninchen angefertigt, welches zeigt, daß die Achillessehne so gut wie keine Gefäße besitzt, daß dagegen der Kalkaneus von dichten Gefäßnetzen umspült und versorgt ist. (Fig. 2.)

Daß in allen Experimenten die Nerven und Gefäße unverletzt blieben, ist selbstverständlich!

Die Erfahrungen meiner Experimente kann ich in folgende Sätze zusammenfassen:

1. Der Kaninchenkalkaneus ist ein ausgezeichnetes Objekt für derartige röntgenologische Untersuchungen über Knochenatrophie. Vielleicht lassen sich auf diese Weise auch wertvolle vergleichende Resultate über andere Atrophieformen gewinnen.

2. Die Inaktivitätsatrophie des Knochens kann nicht als eine spät eintretende Form der Atrophie bezeichnet werden. Am geeigneten Untersuchungsobjekte läßt schon eine einfache Funktionsverminderung eine rapide eintretende und schnell fortschreitende Knochenatrophie des Fußskeletts in Erscheinung treten.

3. Auch nach Immobilisation tritt in kurzer Zeit eine Inaktivitätsatrophie ein

4. Die in diesen Experimenten gefundenen Zeiten des Eintritts der Inaktivitätsatrophie sind noch kürzer als die für den Menschen angegebenen Zeitwerte des Eintritts der akuten, reflektorischen Atrophie.

5. Nach diesen Ergebnissen der Experimente scheint die sogenannte akute, reflektorische, trophoneurotische oder entzündliche Knochenatrophie der Hauptstütze ihres Existenzbeweises beraubt zu sein, genau so, wie auch die Existenz einer reflektorischen, akuten Muskelatrophie durch die Arbeiten von Schiff und Zack (Wien) erneut bezweifelt werden konnte.

Druck von Hesse & Becker in Leipzig.

WELLCOME INSTITUTE
LIBRARY

Coll.	welMOmec
Coll.	pam
No.	WE 200
	1914
	B81e

22500895467